Grundlagen der Bildverarbeitung

Sommersemester 2022

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Institute of Visual Computing

Morphologische Operatoren

Bildoperationen im Ortsraum:
morphologische Operatoren
zur Objektmarkierung

Wolfgang Heiden © 2014-22, mit Beiträgen von R. Herpers, F. Mannuß, B. Kahl, G. Heisenberg

Wolfgang Heiden © 2014-22 wolfgang.heiden@fh-bonn-rhein.sieg.de

-- auf der Grundlage einer Lehrveranstaltung von Prof. Dr. Rainer Herpers sowie Folien von Florian Mannuß 2011, Dr. Björn Kahl 2012, Prof. Dr. G. Heisenberg, 2013 --

Fachbereich Informatik (Dpt. Computer Science)

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg – University of Applied Sciences,

53754 Sankt Augustin

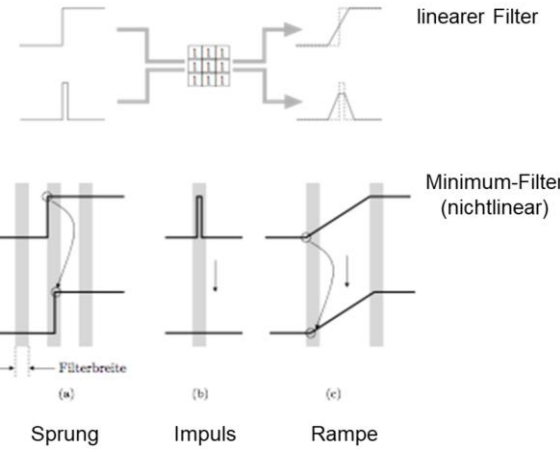
Germany

Lineare und Nichtlineare Filter

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

- **Lineare Filter** glätten nicht nur unerwünschte Artefakte, sondern außerdem auch erwünschte Bild-strukturen bei der Entfernung von Bildfehlern.
- **Nichtlineare Filter** sollen Bildfehler herausfiltern und beabsichtigte Bildstrukturen erhalten.



Quelle: Kahl/Mannuß, WS 2011/12

Mittelwertfilter (linear) und Medianfilter (nicht linear)

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

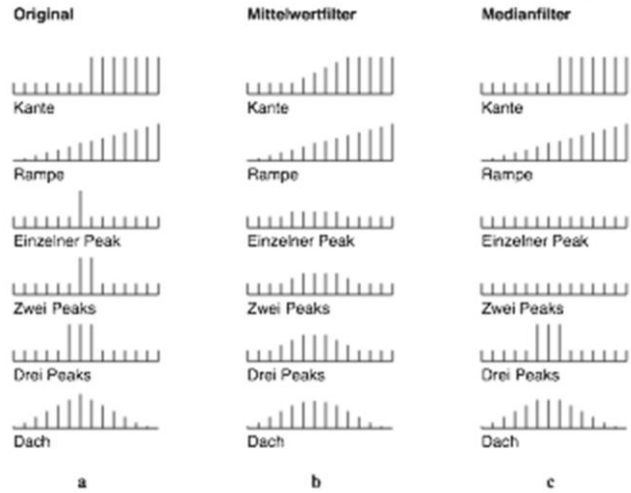


Abbildung 9.7: Eindimensionaler Vergleich von Mittelwert- und Medianfilter
Der Filterkern bzw. das strukturierende Element hat die Größe 5×1. Die Länge der vertikalen Linien entspricht jeweils dem Grauwert. a) Original, b) Mittelwertfilter, c) Medianfilter

Ein Vergleich von Auswirkungen der Transformation einer eindimensionalen Folge von diskreten Werten (vgl. Intensitätswerte von benachbarten Pixeln einer Bildzeile) durch einen linearen (z.B. Mittelwert-) und einen nicht linearen (Median-)Filter illustriert die Unterschiede, die bei der Filterung an Kanten und verrauschten (mehr oder weniger) kontinuierlichen Verläufen entstehen.

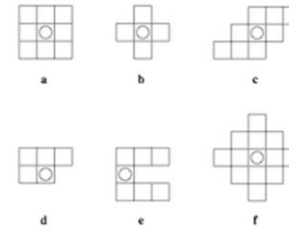
Quelle: Kahl/Mannuß, WS 2011/12

Morphologische Operatoren

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

- **„morphologisch“ → verformend**
  - Veränderung der Form bzw. Struktur von Bildelementen
- **lokale Operatoren** („Masken-Operatoren“)
  - vgl. Faltungsfilter: **Strukturelemente** wandern als Masken Pixel für Pixel über ein Bild und modifizieren im Ergebnisbild das Pixel an der Referenzposition.
- *Grundlage:* **binäre Bildinhalte**
  - Bilder und Strukturelemente enthalten nur 0 od. 1
- **Ziele**
  - Entfernen von Artefakten bei Erhaltung signifikanter Merkmale
  - Hervorhebung von Kanten



Morphologische Operatoren (MO) sollen dazu dienen, die eigentliche Form von Bildobjekten durch deren Befreiung von Artefakten hervorzuheben.

Dazu werden Maskenoperatoren auf binäre Bilder (bzw. binarisierte Versionen von Graustufen- oder Farbbildern) angewandt, die anhand der Übereinstimmung von Formelementen zwischen Bild und Maske über die Zugehörigkeit des betrachteten (nicht notwendigerweise zentralen) Pixels zu Bildobjekt oder –hintergrund entscheiden.

Mithilfe von MO können auch Begrenzungen von Bildobjekten (d.h. Kanten) klarer konturiert und ggf. auch hervorgehoben werden. Zum Zweck der Kantendetektion existieren allerdings spezifisch eigene Filder (i.d.R. Hochpassfilter), die später noch genauer behandelt werden.

Binärbilder enthalten naturgemäß (ausschließlich) klare Grenzen zwischen hellen und dunklen Bildbereichen.

Die Erkennung von Kanten zwischen Objekt und Hintergrund fällt daher leicht. Ob sie allerdings die tatsächlichen Grenzen von abgebildeten Objekten wiedergeben, hängt stark von der Wahl geeigneter Schwellwerte bei der Binarisierung ab.

Unangemessene Schwellenwerte können zu Verbindungen („Brücken“) zwischen eigentlich voneinander getrennten Objekten oder zu scheinbaren Aussparungen („Lücken“) innerhalb von eigentlich geschlossenen Objekten führen.

Wiederholung: **Schwellwert**

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

- Spezielle Form der Quantisierung → Binarisierung
- Trennung der Bildwerte in zwei Klassen → schwarz/weiß

$$g_i' = \begin{cases} a_{low} & \text{, wenn } g_i \leq a_S \\ a_{high} & \text{, wenn } g_i > a_S \end{cases}$$

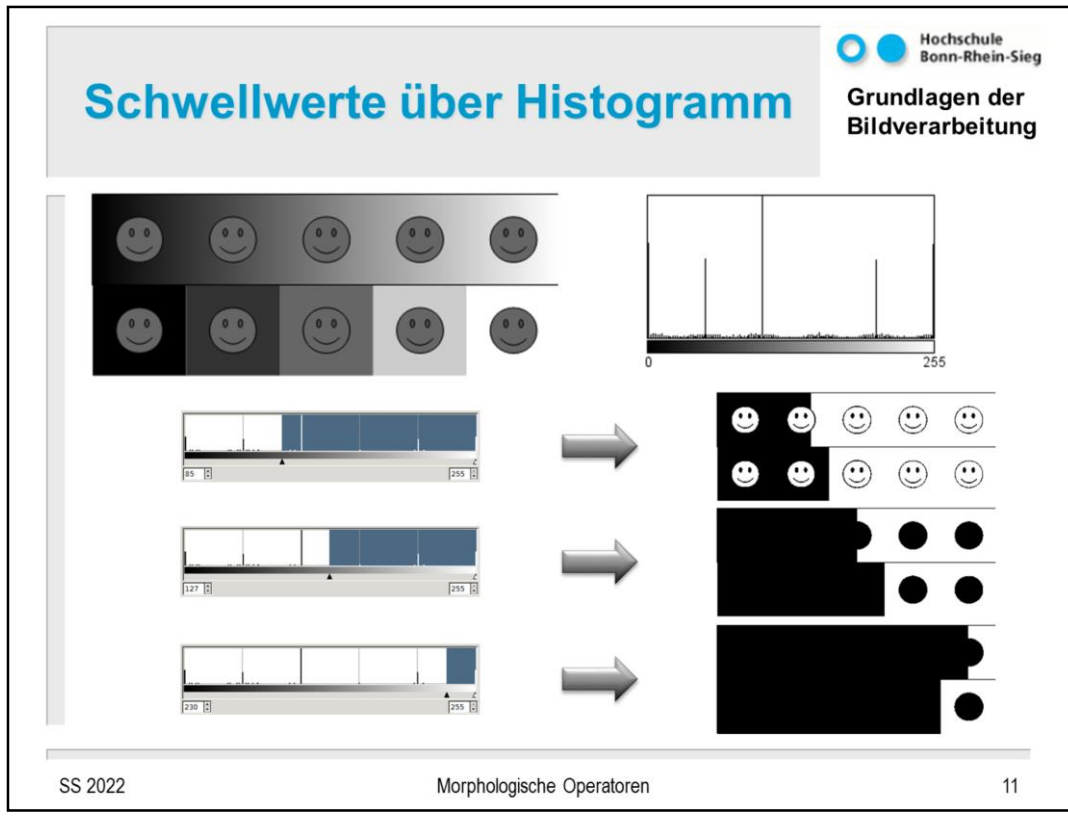
  - Schwellwert a_S
- *Bsp.:* a_low = 0 und a_high = 255

Schwellwert: 128

Die Binarisierung von Bildintensitäten anhand eines Schwellwerts transformiert alle Intensitätswerte oberhalb des Schwellwerts auf ein Maximum (i.d.R. weiß) und alle darunter auf ein Minimum (i.d.R. schwarz). In welche Kategorie der Schwellwert selbst einzuordnen ist, muss per Definition vorab festgelegt werden.

Nach der Binarisierung existieren für jeden Bildpunkt nur noch zwei mögliche Zustände: 0 und 1.
Falls nicht ausdrücklich anders angegeben, wird davon ausgegangen, dass der Wert 0 einem schwarzen Bildpunkt entspricht und 1 einem weißen. In manchen Darstellungen zur Erläuterung verschiedener bildverarbeitender Algorithmen werden diese Farbzuordnungen aber auch umgekehrt, um dem intuitiven Verständnis einer Darstellung von schwarzen Bildobjekten (1) vor einem weißen Bildhintergrund (0) entgegenzukommen. Daher ist es wichtig, die Zuordnung im jeweiligen Bildbeispiel für ein Berechnungsmodell klar bewusst zu machen.

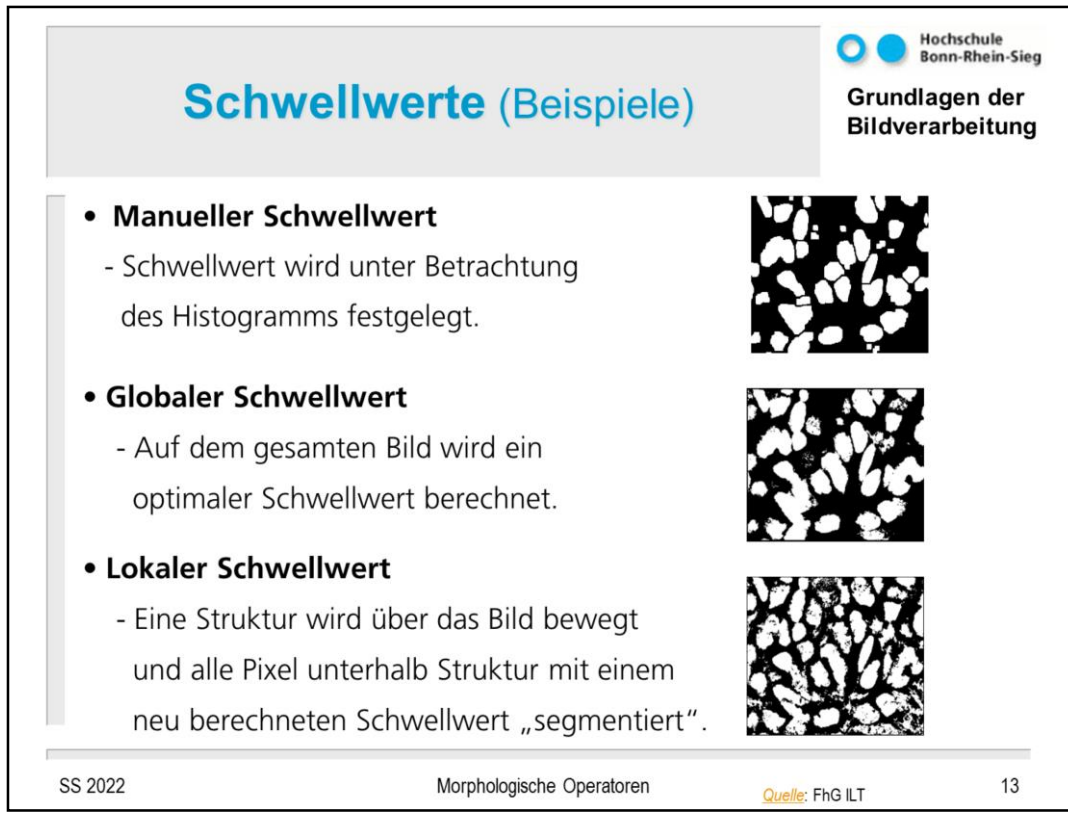
Gelegentlich wird auch von „gesetzten“ (1) und „ungesetzten“ (0) Pixeln gesprochen, wenn der Wert einzelner Bildpunkte nach einer gegebenen Vorschrift festgesetzt wird.



Die Lage des Schwellwerts hat erheblichen Einfluss auf das Ergebnis einer Binarisierung. Um willkürliche bzw. zufällige Variabilitäten zu minimieren, ist es wichtig, nachvollziehbar zu einem geeigneten Schwellwert zu finden. Eine Grundlage dafür kann das Histogramm der Intensitätswerte liefern.

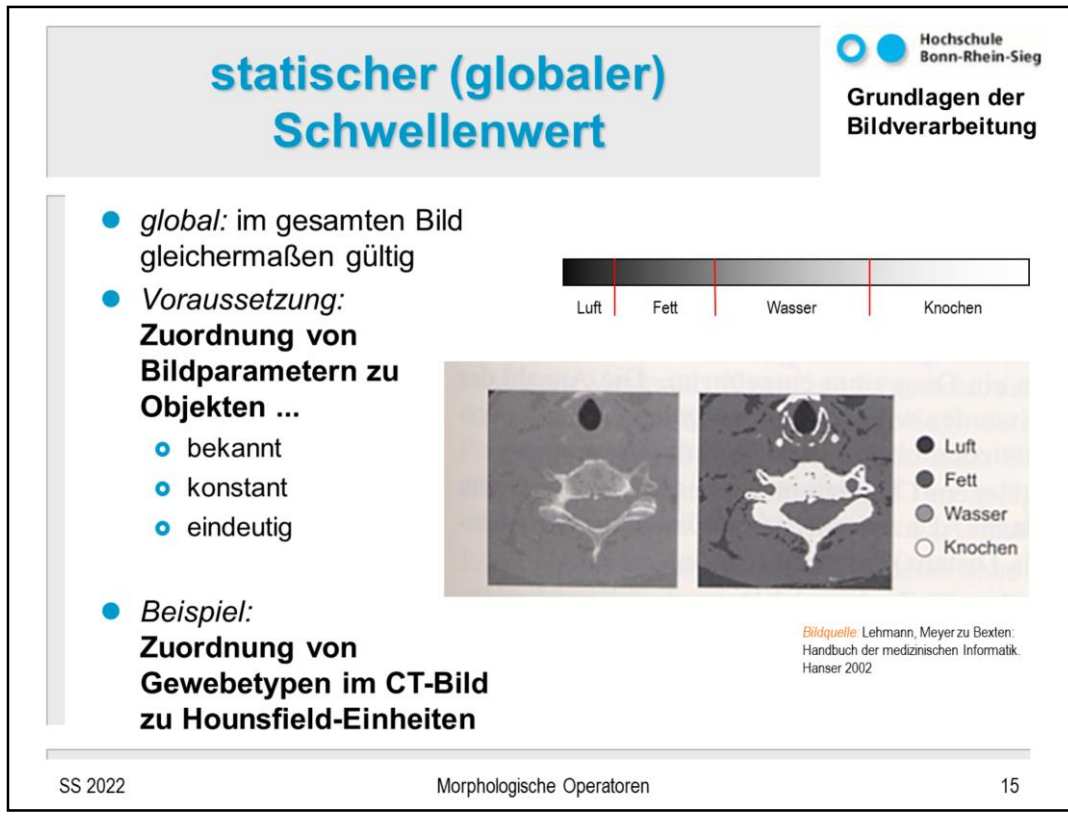
Im abgebildeten Beispiel bieten sich mehrere (mehr oder weniger leere) Zwischenräume zwischen Grauwerte-Peaks im Histogramm für das Setzen eines Schwellenwerts an. Die daraus resultierenden Binärbilder unterscheiden sich signifikant voneinander.

Interessant ist auch der Vergleich zwischen diskreten Grauwertstufen und einem kontinuierlichen Helligkeitsverlauf im Bildhintergrund.



Schwellwerte können auf unterschiedliche Weise bestimmt werden:

- **Manuell** werden Schwellwerte oft entweder nach Augenmaß oder anhand des Histogramms festgesetzt. Manchmal helfen aber auch **Algorithmen**, automatisiert einen geeigneten Schwellenwert zu finden.
- **Statisch** definierte Schwellwerte werden als feste Vorgabe übernommen, **dynamisch** generiert werden Schwellwerte anhand bestimmter algorithmischer Vorgaben in begrenztem Kontext.
- Ein **globaler** Schwellwert gilt unverändert für ein gesamtes Szenario (d.h. ein ganzes Bild oder einer Bilderserie), **lokale** Schwellwerte können **adaptiv** innerhalb eines Bildes durch Anpassung al die regionale Umgebung variieren.

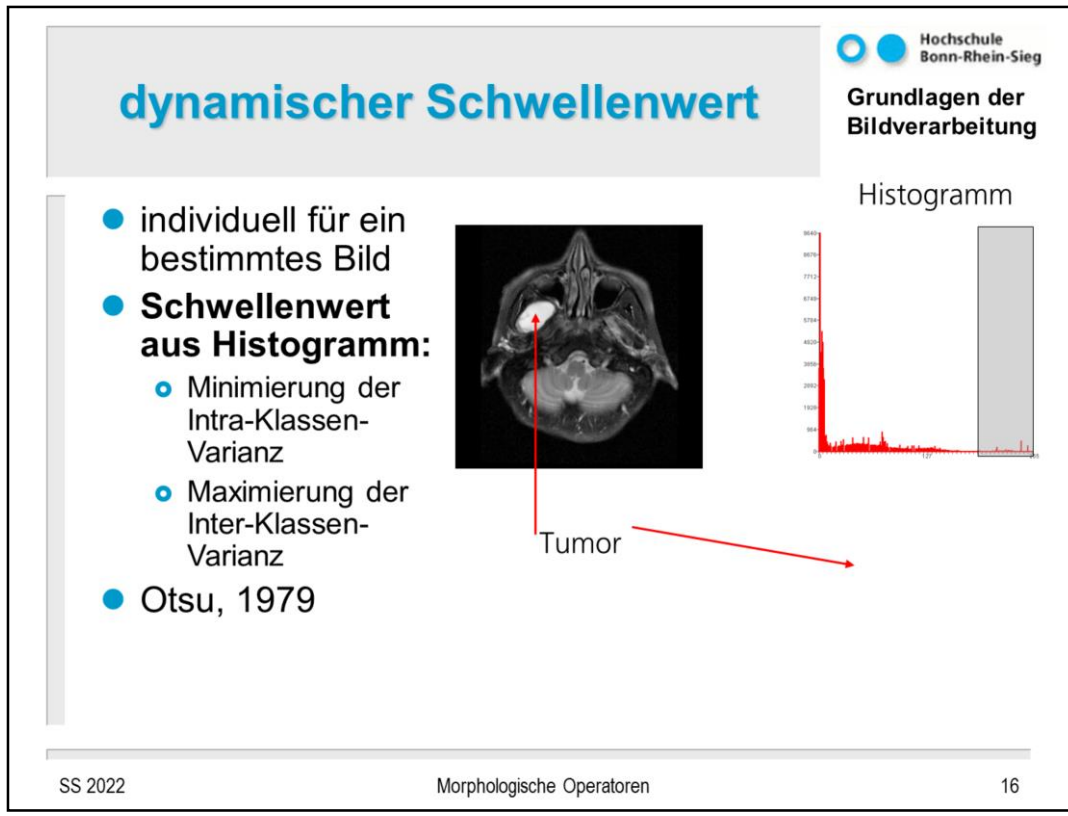


Globale statische Schwellwerte finden häufig im Zusammenhang mit normierten Vorgängen Anwendung, z. B. bei medizinischen bildgebenden Geräten (vgl. DICOM-Standard). In diesem Fall bezieht sich die statische bzw. globale Geltung der Schwellwerte nicht nur auf das gesamte Bild, sondern zwecks Vergleichbarkeit auf alle Bilder eines Untersuchungstyps.

Bei zuverlässiger Erzeugung von Intensitätswerten aufgrund der gemessenen Untersuchungsobjekte (z.B. menschliche Körpergewebe in der Computertomographie/CT) und hinreichend klarer Abgrenzung der Wertebereiche (hier: „Hounsfield"-Einheiten optischer Dichte für „weiche" Röntgenstrahlen) für die zu unterscheidenden Kategorien kann eine eindeutige Zuordnung anhand von Schwellwerten zwischen diesen Wertebereichen vorgenommen werden.

Quelle (u.a.): Lehman, Meyer zu Bexten: Handbuch der medizinischen Informatik. Hanser 2002, Kap. 8.7, pp 386-394

(Verlauf in Abb. korrigiert: wh, 01.06.2014)



Eine automatische Berechnung des Schwellwerts zur Binarisierung eines Graustufenbildes wird durch ein von Noboyuki Otsu 1979 vorgeschlagenes Verfahren ermöglicht (Nobuyuki Otsu: *A threshold selection method from grey level histograms*. In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. New York, 9.1979, S. 62–66. ISSN 1083-4419).

Dynamischer Schwellwert
(Verfahren nach Otsu,1979)

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

Prinzip:

- 2 Klassen K_0 und K_1 sind durch den Schwellwert t getrennt.
- Dann gilt für die Auftrittswahrscheinlichkeiten $p_{s,i}$

$$p_{s,0} = \sum_{g=0}^{t} p(g)$$

$$p_{s,1} = \sum_{g=t+1}^{G-1} p(g) = 1 - p_{s,0}$$

- Sei nun m_0 der mittlere Grauwert von K_0 und m_1 der von K_1, dann gilt für den mittleren Grauwert m des gesamten Bildes:

$$m = m_0 \cdot p_{s,0} + m_1 \cdot p_{s,1}$$

- Für die Varianzen σ gilt dann entsprechend: Sie sind alle eine Funktion vom Schwellwert t.

$$\sigma_0^2 = \sum_{g=0}^{t} (g - m_0)^2 \cdot p(g)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{g=t+1}^{G-1} (g - m_1)^2 \cdot p(g)$$

Bestimmung des Schwellwerts t:

- Minimierung der Intra-Klassen-Varianz σ_{in}

$$\sigma_{in}^2 = p_{s,0} \cdot \sigma_0^2 + p_{s,1} \cdot \sigma_1^2$$

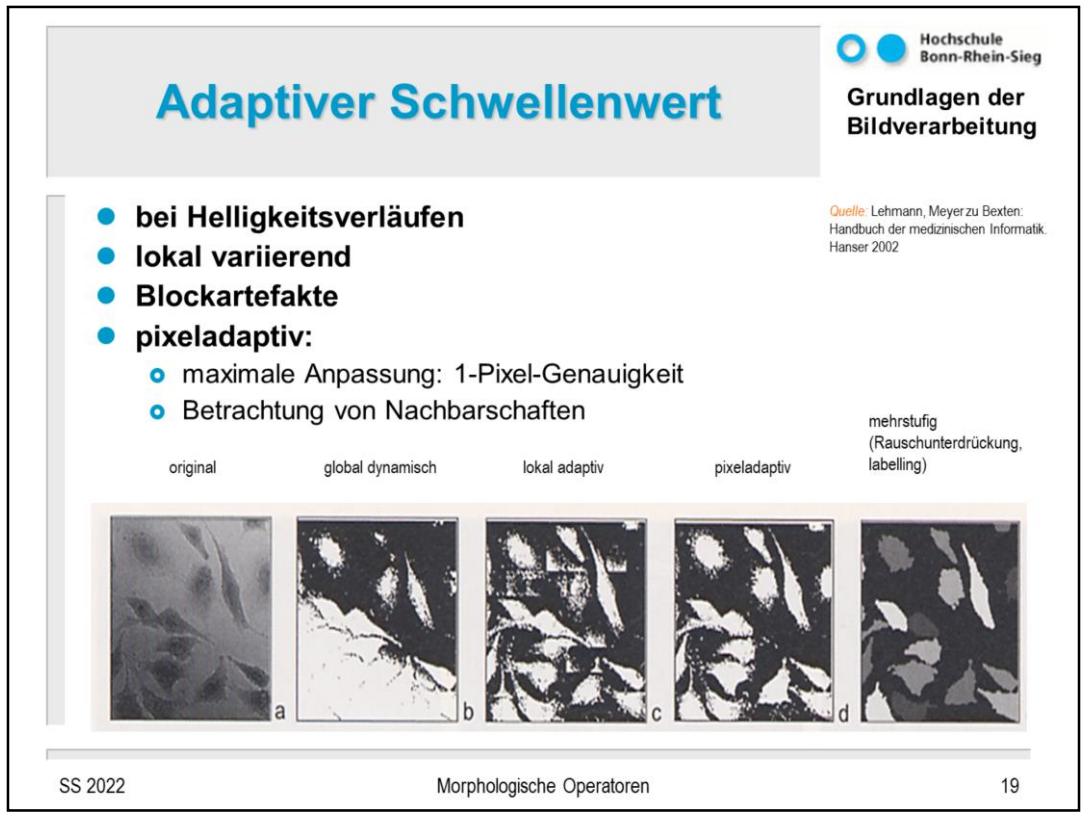
- Maximierung der Inter-Klassen-Varianz σ_{zw}

$$\sigma_{zw}^2 = p_{s,0}(m_0 - m)^2 + p_{s,1}(m_1 - m)^2$$

$$\frac{\sigma_{zw}^2}{\sigma_{in}^2} = \max$$

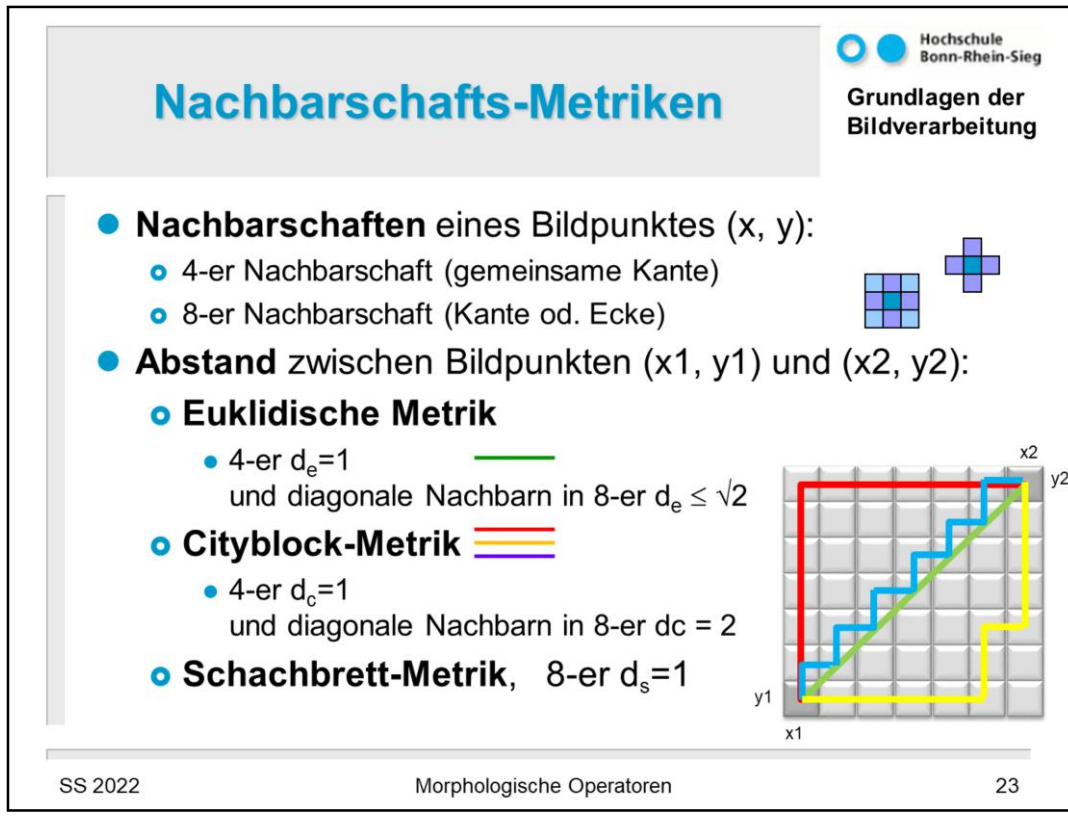
nach:

Nobuyuki Otsu: *A threshold selection method from grey level histograms*. In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. New York, 9.1979, S. 62–66. ISSN 1083-4419).



Insbesondere bei inhomogen ausgeleuchteten Bildern treffen statische Schwellwertberechnungen schnell auf unüberwindliche Hindernisse. Auch die dynamische Berechnung eines für das gesamte Bild optimierten Schwellwerts (a) führt hier oft nicht zu zufriedenstellenden Ergebnissen. Adaptive Verfahren, die Schwellwerte für begrenzte Bildbereiche (z.B. quadratische Blöcke) lokal berechnen (b), können an den Kanten der Blöcke Blockartefakte erzeugen. Bessere Ergebnisse liefert hier die Schwellwert-Berechnung über Maskenfilter, die Pixel für Pixel über das Bild wandern (c).

Variante (d) (mehrstufige Schwellwertbildung) nimmt schon über mehrere aufeinander folgende Verarbeitungsstufen (z.B. das Entfernen verrauschter Bildelemente über morphologische Maskenoperatoren) die Weiterentwicklung zur Segmentierung vorweg.



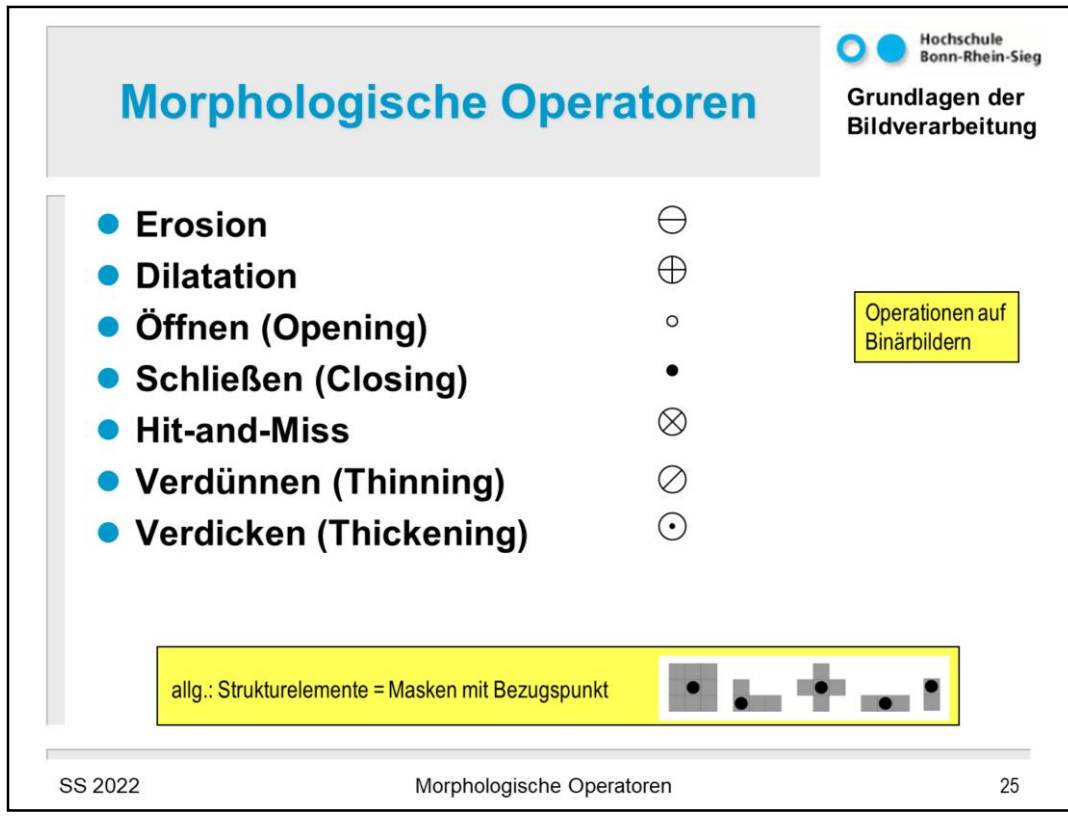
Bei der Betrachtung der Nachbarschaft eines Bildpunktes (z.B. bei Maskenoperationen) kann es sich als wichtig erweisen, den Einfluss benachbarter Pixel von deren Abstand zum Referenzpixel abhängig zu machen. Je nach Betrachtungsweise bzw. Entstehungskontext des Bildes stehen unterschiedliche Metriken zur Berechnung dieser Abstände zur Verfügung.

Cityblock-Metrik = Manhattan-Metrik = Taxi-Metrik: Distanz zweier Punkte als Summe der absoluten Differenzen der Einzelkoordinaten → diskrete Ortspunkte, "Umfahren von Häuserblocks„

de = Euclidian distance (diagonal: Pythagoras)

dc = cityblock distance (in ganzen Schritten von Pixelzentrum zu Pixelzentrum entlang der Bildachsen)

ds = chessboard distance (vgl. Zugoptionen des „Königs“ als Schachfigur)



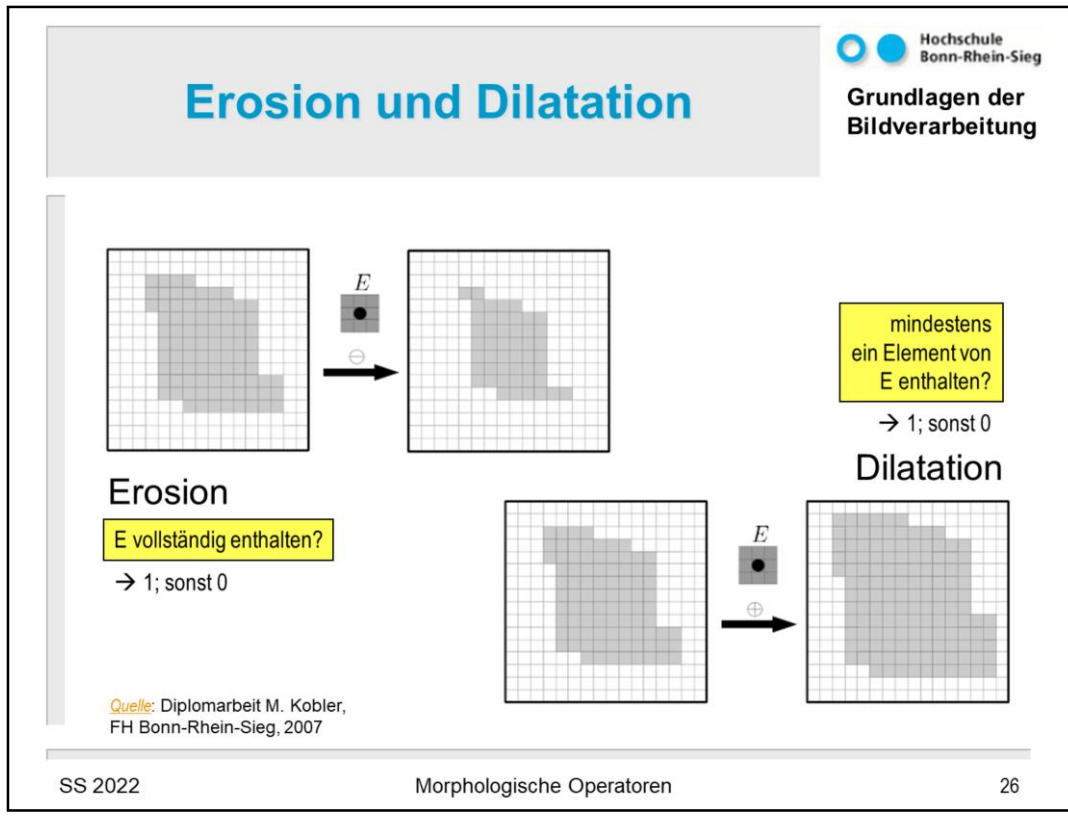
Für die mathematische Beschreibung von morphologischen Operationen (MO) wurden bestimmte Symbole definiert.

Allen ist gemeinsam, dass sie eine Transformation von Bilddaten vornehmen, indem eine Maske („Strukturelement“) pixelweise über ein Bild geschoben und der jeweils unter dem Bezugspunkt (hier: schwarzer Kreis) liegende Pixel transformiert wird. Die Berücksichtigung der Werte auf benachbarten Pixeln hängt dann binär davon ab, ob der jeweilige Maskenpunkt gesetzt (1 – hier graue Quadrate) oder nicht gesetzt (0 – hier weiß) ist. Im Gegensatz zu Faltungsfiltern ist Symmetrie der Strukturelemente für MO nicht erforderlich.

vgl.:

Landmarkenbasierte Ausrichtung von dreidimensionalen NNHCTDatensätzen

(Diplomarbeit Markus Kobler, FH Bonn-Rhein-Sieg, 2007)



ACHTUNG: Zum intuitiven Verständnis sind hier (und in den meisten folgenden Beispielen) gesetzte Pixel dunkel und ungesetzte hell dargestellt. Beim regulären Verfahren an binären (SW-) oder auch Grauwert (GW-)Bildern ist es genau umgekehrt!

Erosion = Minkowski-Subtraktion: *hier:* Vergrößerung der hellen Bereiche auf Kosten der dunklen

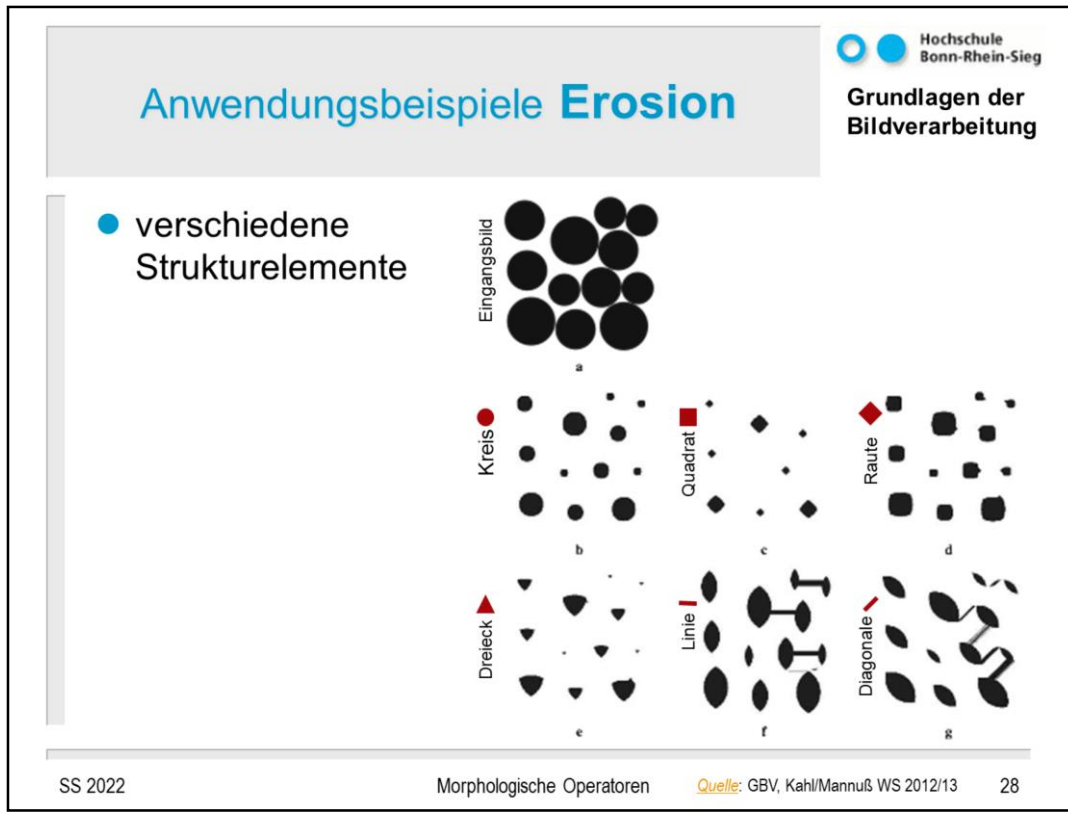
Wenn das Strukturelement an allen (auf 1) gesetzten Positionen mit dem darunter liegenden Bildbereich übereinstimmt, wird das zentrale Pixel im Ergebnisbild auf 1 gesetzt (sonst 0).

Anschaulich bedeutet dies, dass alle (auf 1) gesetzten Pixel, deren Umgebung das Strukturelement nicht vollständig beinhaltet, entfernt (d.h. im Ergebnisbild auf 0 gesetzt) werden. Dadurch wird die **äußere Schicht** eines zusammenhängenden (durch den Pixelwert 1 repräsentierten) Bildobjekts **abgetragen**.

Dilatation = Minkowski-Addition: *hier:* Vergrößerung der dunklen Bereiche auf Kosten der hellen

Wenn das Strukturelement an mindestens einer (auf 1) gesetzten Position mit dem darunter liegenden Bildbereich übereinstimmt, wird das zentrale Pixel im Ergebnisbild auf 1 gesetzt (sonst 0).

Anschaulich bedeutet dies, dass alle Pixel, deren Umgebung zumindest eine (auf 1) gesetzte Nachbarschaft mit dem Strukturelement gemeinsam hat, selbst (auf 1) gesetzt wird – unabhängig von seinem eigenen vorherigen Wert. Dadurch wird (durch den Pixelwert 1 repräsentierten) Bildobjekten **eine zusätzlich umhüllende Schicht hinzugefügt**.



Die Form des Strukturelements beeinflusst das Ergebnis morphologischer Operationen.

Erosion eines Ursprungsbildes mit gefüllten Kreisen unterschiedlicher Größe separiert die Bildobjekte und verformt sie dabei gegensätzlich zur eigenen Form. Berührungspunkte zwischen den ursprünglichen Kreisen bleiben als Linien erhalten.

Achtung: Hier sind Bildobjekte (1) schwarz und Hintergründe (0) weiß dargestellt!

Erweiterte Erosion

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

- **Stärke der Erosion kann über Parameter eingestellt werden.**
  - variabler Parameter $0 < m_e < k$

z: Anzahl der in Eingangsbild *I(i,j)* unter dem Strukturelement gesetzten Pixel
k: Anzahl der Pixel des Strukturelements

$$I'(i_0, j_0) = \begin{cases} 0 & \text{, wenn } z \leq m_e \\ I(i_0, j_0) & \text{, sonst} \end{cases}$$

SS 2022 Morphologische Operatoren Quelle: GBV, Kahl/Mannuß WS 2012/13 29

Erweiterte Erosion:

gesetztes Pixel **löschen**, wenn **höchstens** m_e weitere Pixel unter dem Strukturelement gesetzt sind.

Andernfalls Wert aus Originalbild übernehmen.

Achtung: Um das Prinzip „Erosion“ zu erhalten, muss vermieden werden, dass ein ungesetztes zentrales Pixel die Bedingung erfüllen (wenn es von genügend gesetzten Pixeln umgeben ist) und so zu einer Art Dilatation führen könnte! (Dies ist durch die angegebene Bedingung gewährleistet, da „sonst“ der ursprüngliche Wert übernommen wird.)

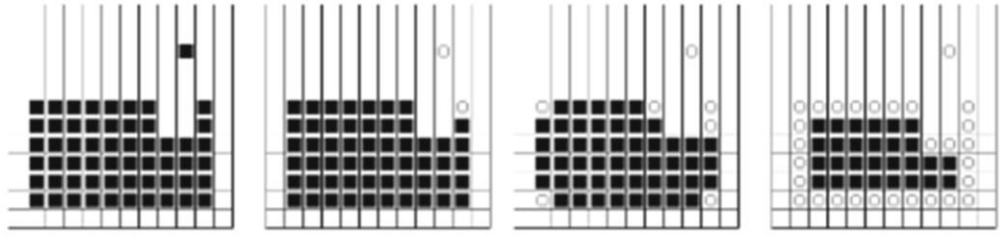
$m_e = 8$ → „normale“ Erosion als Spezialfall (für ein Strukturelement der Größe 3x3)

Beispiel **Erweiterte Erosion**

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

Erodiergrenze m_e	Wirkung
1	Einzelne Rauschpunkte auf dem Hintergrund eliminieren
2	Endpunkte einer Linie von 1 Pixel Breite eliminieren
3	Linie von 1 Pixel Breite eliminieren
4,5	Ecken abrunden
6,7	Konvexe Randpunkte eliminieren
8	Konkave Randpunkte eliminieren



a Eingangsbild | **b** m_e=2 | **c** m_e=4 | **d** m_e=6

Erweiterte Erosion:

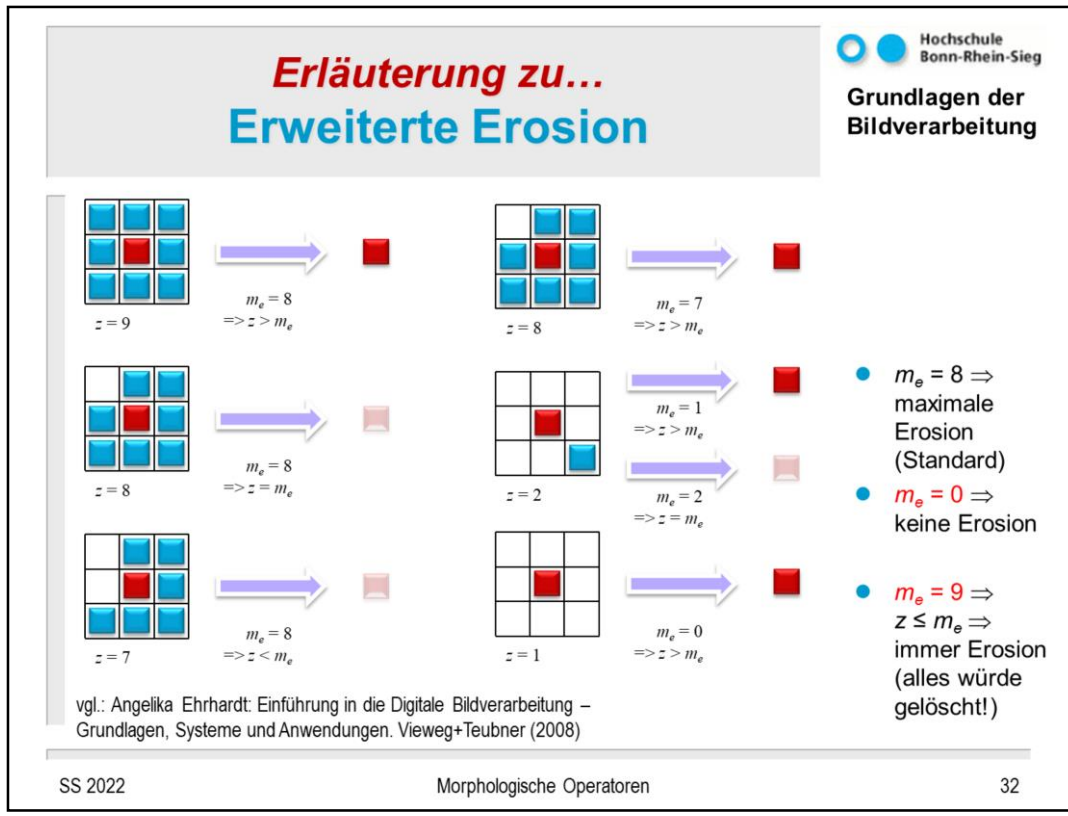
gesetztes Pixel **löschen**, wenn **höchstens** m_e weitere Pixel unter dem Strukturelement gesetzt sind;

sonst ursprünglichen Wert übernehmen

Strukturelement hier: 3x3

$m_e = 8 \rightarrow$ „normale“ Erosion als Spezialfall

Im Beispiel sind gesetzte Pixel schwarz abgebildet. „Löschen“ bedeutet eigentlich, dem Pixel an der entsprechenden Position im Ergebnisbild den Wert 0 zuzuweisen.



Hier soll die Wirkung verschiedener Parameter bei der **Erweiterten Erosion** mit einem vollständig gefüllten Strukturelement der Größe 3x3 verdeutlicht werden.

Ein Punkt wird auf **0** gesetzt (d.h. „gelöscht“), wenn **höchstens m_e Nachbarpunkte** (unter Strukturelement-Punkten mit dem Wert 1) den Wert 1 haben (d.h. „gesetzt“ sind). Andernfalls bleibt er unverändert.

Sinnvoll kann m_e bei komplett gefülltem 3x3-Strukturelement nur zwischen 1 und 8 liegen. Bei m_e=0 bliebe das Bild überall unverändert, bei m_e=9 würden alle Punkte auf 0 gesetzt.

Erweiterte Dilatation

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

- **Stärke der Dilatation kann über Parameter eingestellt werden.**
  - variabler Parameter $0 < m_d < k$

z: Anzahl der in Eingangsbild *I(i,j)* unter dem Strukturelement gesetzten Pixel
k: Anzahl der Pixel des Strukturelements

$$I'(i_0, j_0) = \begin{cases} 1 & \text{, wenn } z \geq m_d \\ I(i_0, j_0) & \text{, sonst} \end{cases}$$

Erweitere Dilatation:

Ein Pixel wird **gesetzt**, wenn insgesamt **mindestens** m_d gesetzte Pixel unter dem Strukturelement liegen.

Andernfalls wird der Wert aus dem Original übernommen. (D.h. wenn der vorher gesetzt war, bleibt er es.)

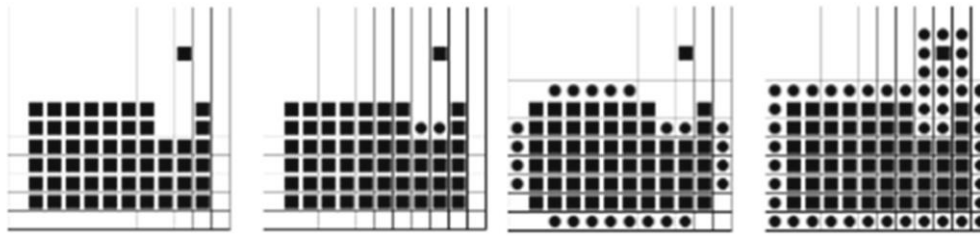
$m_d = 1 \rightarrow$ „normale“ Dilatation als Spezialfall

Beispiel **Erweiterte Dilatation**

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

Dilatiergrenze m_d	Wirkung
1	Vollständigen Rand anfügen
2	Diagonale Linien von 1 Pixel Breite verbreitern
3	Horizontale Ränder anfügen
4,5	Konkave Randpunkte anfügen
6,7	Linien innerhalb von Objekten eliminieren
8	Störpunkte innerhalb von Objekten eliminieren



a Eingangsbild | b m_d=5 | c m_d=3 | d m_d=1

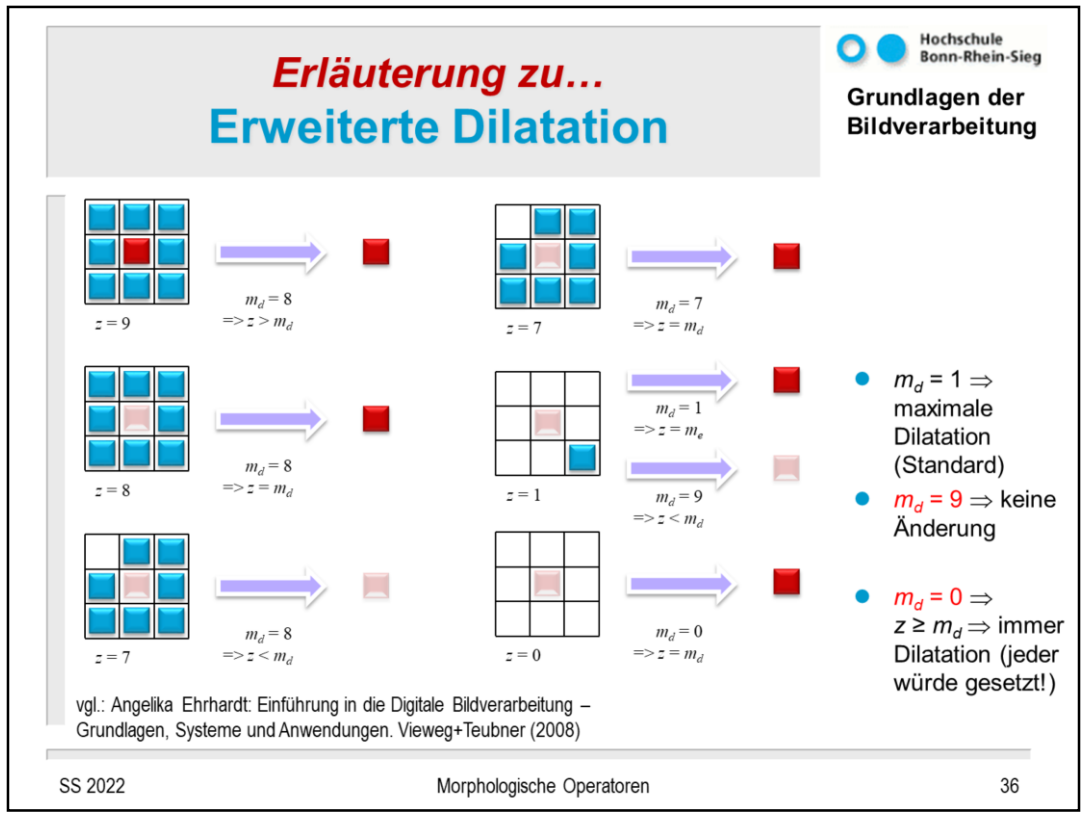
Erweitere Dilatation:

Ein Pixel wird **gesetzt**, wenn insgesamt **mindestens** m_d gesetzte Pixel unter dem Strukturelement liegen.

Strukturelement hier: 3x3

$m_d = 1 \rightarrow$ „normale“ Dilatation als Spezialfall

Im Beispiel sind gesetzte Pixel schwarz abgebildet. „Setzen“ bedeutet eigentlich, dem Pixel an der entsprechenden Position im Ergebnisbild den Wert 1 zuzuweisen.



Hier soll die Wirkung verschiedener Parameter bei der **Erweiterten Dilatation** mit einem vollständig gefüllten Strukturelement der Größe 3x3 verdeutlicht werden.

Ein Punkt wird auf **1** gesetzt (d.h. „gesetzt“), wenn **mindestens m_d Nachbarpunkte** (unter Strukturelement-Punkten mit dem Wert 1) den Wert 1 haben (d.h. „gesetzt“ sind). Andernfalls bleibt er unverändert.

Sinnvoll kann m_d bei komplett gefülltem 3x3-Strukturelement nur zwischen 1 und 8 liegen. Bei m_d=9 bliebe das Bild überall unverändert (weil entweder m_d nicht erreicht würde oder der Punkt sowieso schon gesetzt sein müsste, bei m_d=0 würden alle Punkte auf 1 gesetzt, d.h. das Bild würde komplett gefüllt.

Nichtsymmetrische Dilatation

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

- Nichtsymmetrische Strukturelemente erhalten Vorzugsrichtung.

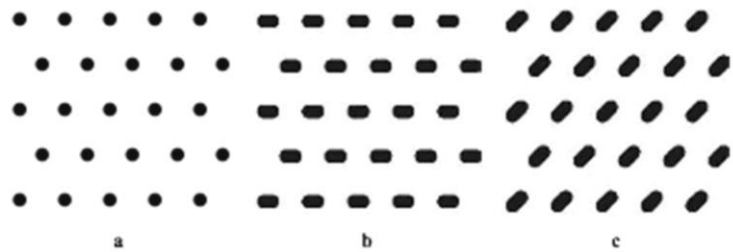
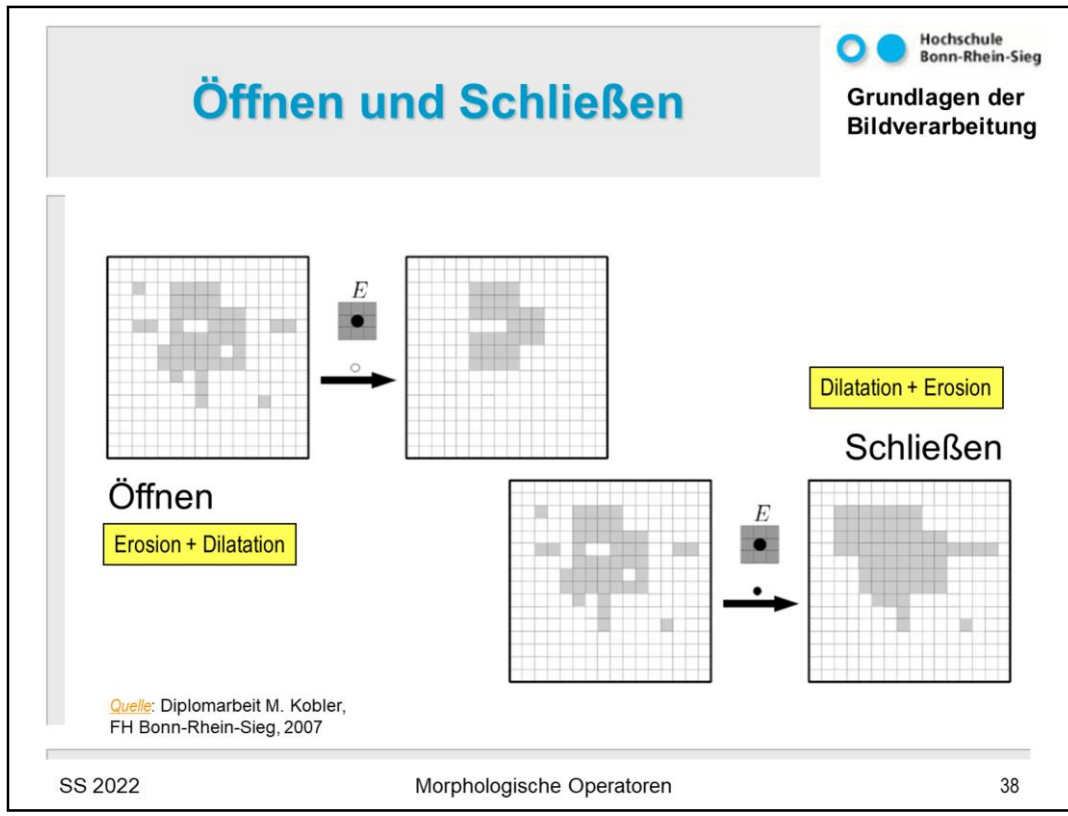


Abbildung 9.17: Beispiele zur Dilatation mit strukturierten Elementen in verschiedener Form
Die Dilatation (Grundversion) wurde jeweils zweimal hintereinander durchgeführt. Die schwarzen Pixel haben den Wert 1, die weißen den Wert 0. a) Punkte als Binärbild b) Horizontales strukturierendes Element der Länge 11 Pixel und der Breite 1 Pixel der Form ▬ c) Diagonales strukturierendes Element der Länge 11 Pixel und der Breite 1 Pixel der Form ⁄

Auch bei der Dilatation beeinflusst die Form des Strukturelements das Ergebnis. Anders als bei der Erosion verformt die Dilatation Bildobjekte (hier schwarz) bei der Vergrößerung aber entsprechend seiner eigenen Form.



Ziel: Formen glätten, Größe der Objekte erhalten

Die sequenzielle Kombination mehrerer morphologischer Operationen kann genutzt werden, um „verrauschte“ Bildobjekte zu glätten.

Morphologisches Öffnen löscht kleine gesetzte Bereiche. Ggf. öffnen sich damit Zugänge zu inneren Hohlräumen.

Morphologisches Schließen füllt Lücken an und in größeren gesetzten Bereichen. Ggf. schließen sich damit Hohl- und Zwischenräume.

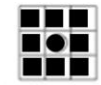
Beide Operationen erhalten im Endeffekt grundsätzlich die Größe der bearbeiteten Bildobjekte.

Beispiel „Open“

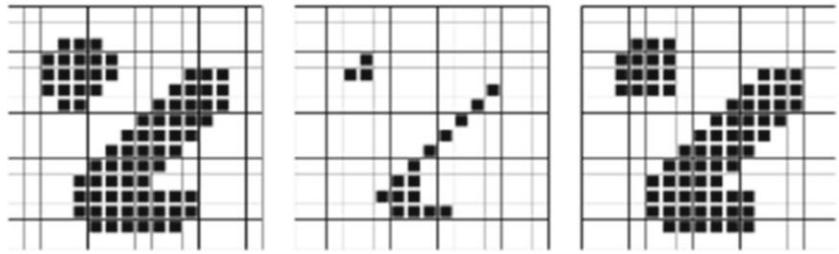
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

- Kombination von Erosion und Dilatation
- Zuerst **Erosion**, dann **Dilatation**
- *Aufgabe:* Glätten von Rändern, Entfernen von Artefakten, gezieltes Entfernen von Objekten



Strukturelement 3x3 Box



a Eingangsbild | b nach Erosion | c nach Dilatation

„Open“ zur Entfernung von Artefakten

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

- Strukturelement besitzt die Form der zu erhaltenden Objekte

Strukturelement

a b

Eingangsbild Ergbnisbild

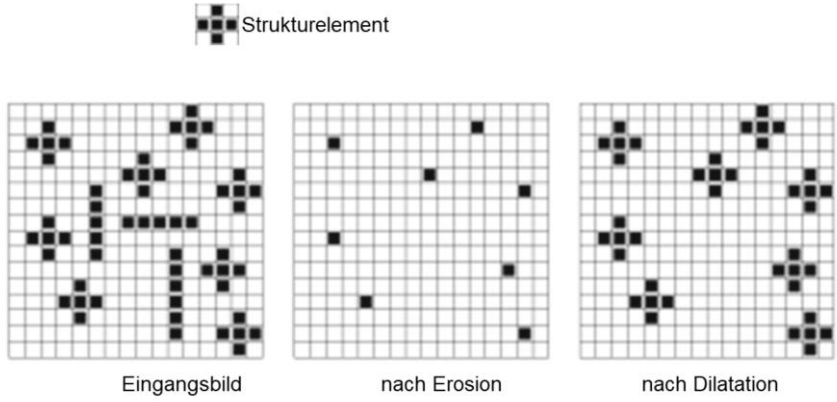
Der Operator „Open“ entfernt Strukturen, die sich signifikant von der Form des Strukturelements unterscheiden.

„Open“ zur Extraktion von Formen

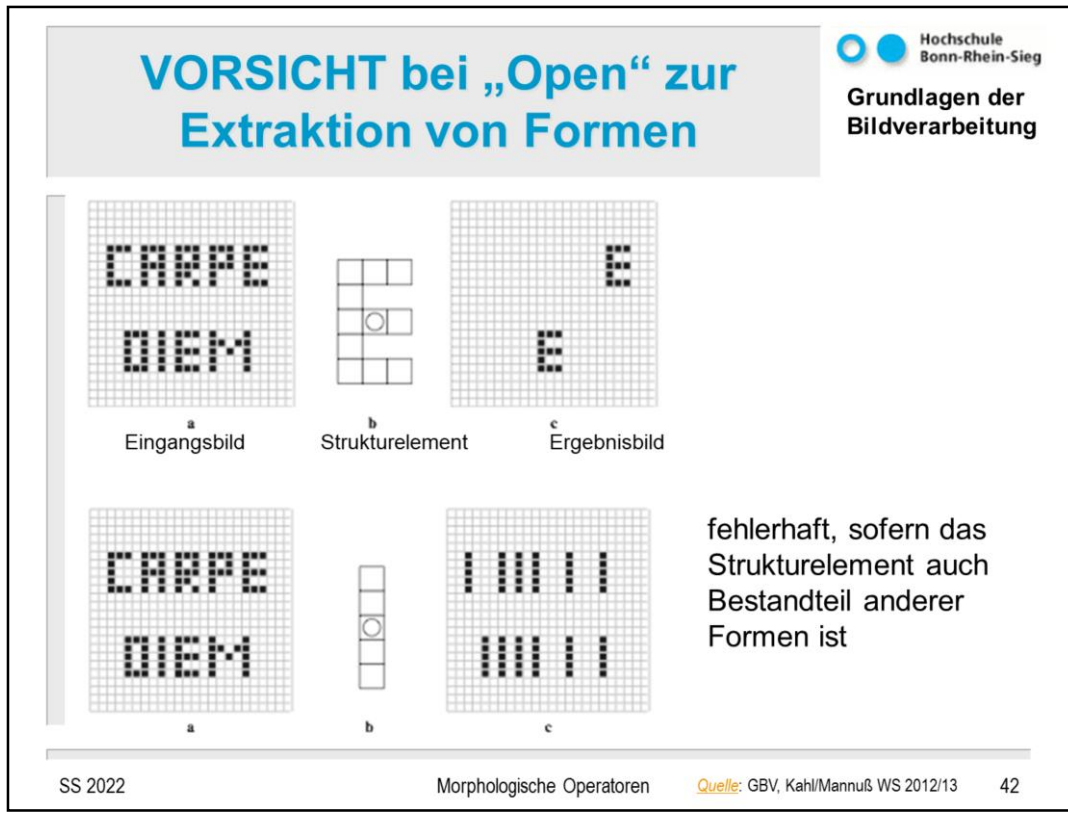
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

- Strukturelement besitzt die Form der zu erhaltenden Objekte



Der Operator „Open“ entfernt Strukturen, die sich signifikant von der Form des Strukturelements unterscheiden.



Der Operator „Open“ entfernt Strukturen, die sich signifikant von der Form des Strukturelements unterscheiden.

Diese Eigenschaft kann zur Erkennung von Schriftzeichen im Kontext der OCR (Optical Character Recognition) genutzt werden. Zu beachten ist allerdings, dass damit auch als „False Positives“ Schriftzeichen identifiziert werden, die in ihrer Form Bestandteil anderer Schriftzeichen sind.

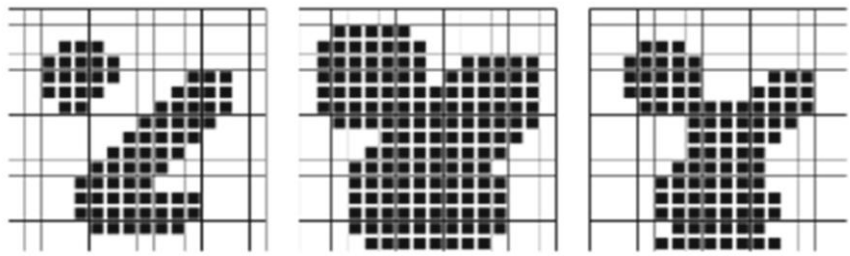
Beispiel „Close“

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

- Kombination von Erosion und Dilation
- Zuerst **Dilatation**, dann **Erosion**
- *Aufgabe:*
  - Schließen kleiner Löcher innerhalb des Objekts
  - Zusammenfügen zusammengehörender Objekte

Strukturelement 3x3 Box



a Eingangsbild | b nach Dilatation | c nach Erosion

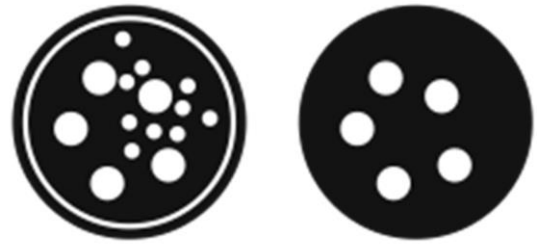
„Close“ zum Schließen von Löchern

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

hier:

- Strukturelement ist ein Kreis.
- Radius liegt zwischen dem der großen und kleinen Kreis



a Eingangsbild

b Ergebnisbild

Mit einem Strukturelement geeigneter Form und Größe ermöglicht die Operation „Close“ das Schließen von unerwünschten Hohlräumen unter Erhaltung anderer.

Segmentierung in Bildern bezeichnet das Zusammenfassen in sich einheitlicher, zusammenhängender Bildregionen anhand von Homogenitätskriterien.

Schwierigkeiten bereiten dabei z.B. Schatten und Glanzlichter. Morphologische Operatoren können dabei helfen, die eigentliche Form eines Bildobjekts als Einheit für die Segmentierung vorzubereiten.

Hit & Miss

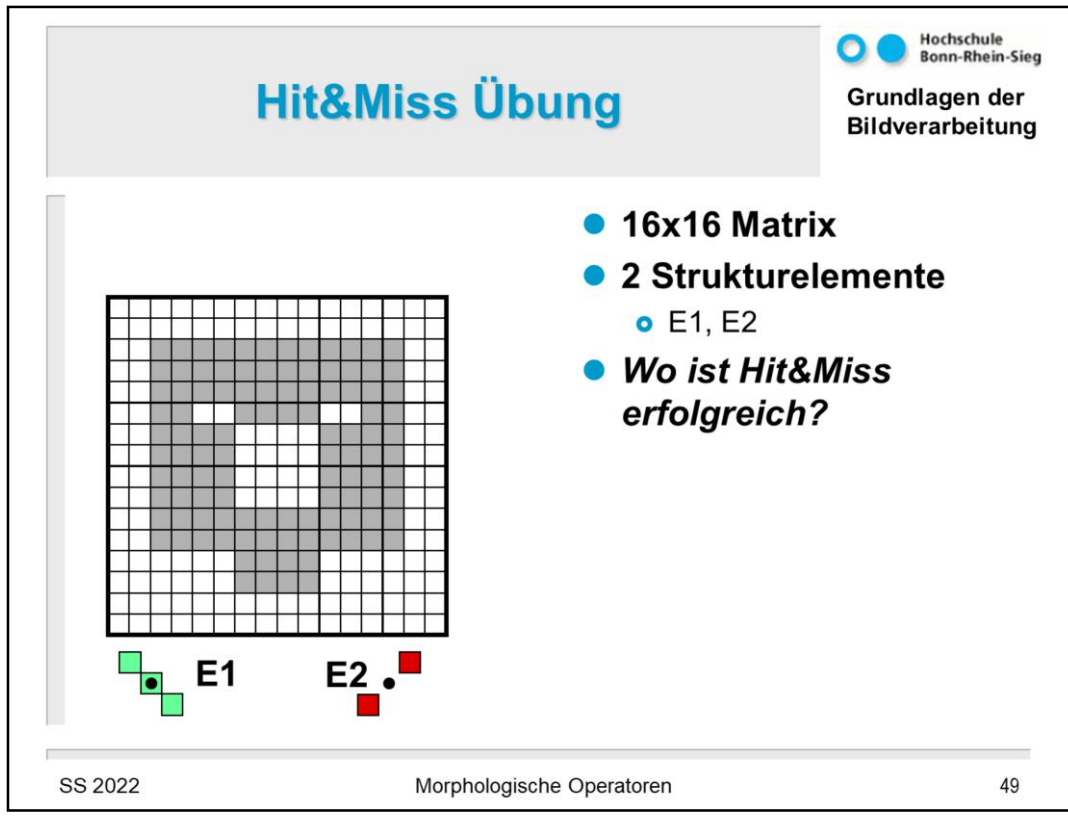
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

- *Gegeben:*
  - ein Originalbild S_e
  - zwei **Strukturelemente** E1, E2
- zu prüfende **Bedingung**:
  - E1 vollständig in S_e enthalten *und*
  - E2 vollständig nicht in S_e enthalten
- Suche nach speziellen Pixelkombinationen
- **Konsequenz:**
  - Punkt entfernen, wenn H&M erfolgreich → **Thinning**
  - E2 hinzufügen, wenn H&M erfolgreich → **Thickening**

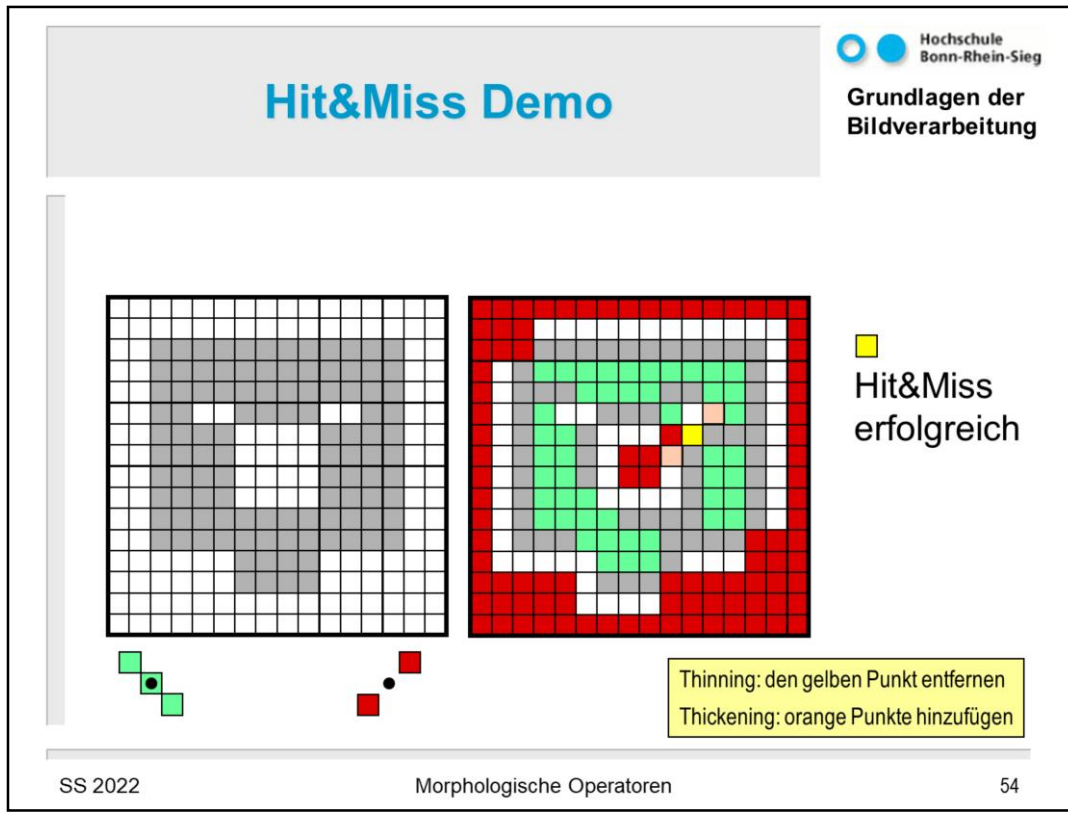
Die Kombination verschiedener Operatoren bietet vielfältige Möglichkeiten. Dabei müssen in den verschiedenen Schritten auch die Strukturelemente nicht zwingend gleich bleiben.

Mit dem „Hit & Miss“-Verfahren können komplexe Eigenschaften eines Bildes untersucht und Regionen, die bestimmte Kriterien erfüllen, markiert werden.



Versuchen Sie sich einmal an der Durchführung dieser Hit&Miss-Aufgabe.

Welche Pixel werden am Ende ausgewählt?



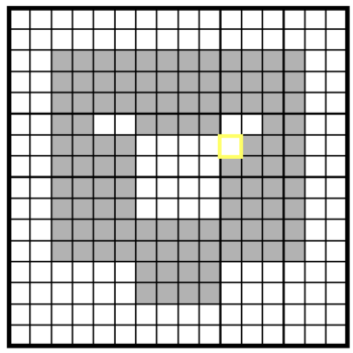
Thinning: den gelben Punkt entfernen

Thickening: E2 hinzufügen

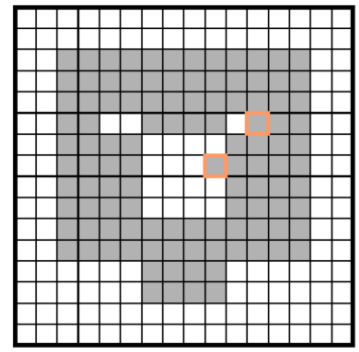
Hit&Miss Ergebnis

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung



Thinning



Thickening

Morphologische Operatoren im Grauwertbild

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

$G = \{0,1,2,\ldots\ldots\ldots,255\}$

$S_e = (s_e(x,y))$

- $Ero(x,y) = min[U(StrEL(x,y))]-g$
- $Dil(x,y) = max[U(StrEL(x,y))]+g$

mit g = beliebiger „Zuschlagsgrauwert“ zur zusätzlichen Gewichtung.

(vgl. Median-Filter)

Obwohl Morphologische Operationen normalerweise ausschließlich auf Binärbilder angewandt werden, lässt sich das Prinzip trotzdem auch für Graustufenbilder generalisieren.

Aus der binären ja/nein-Entscheidung nach Vergleich mit einem Strukturelement wird dabei eine graduelle Belegung des zentralen Punktes mit dem geringsten (min, Erosion) oder höchsten (max, Dilatation) Intensitätswert der umgebenden Pixel an den gesetzten Positionen im Strukturelement.

→Erosion verdunkelt, Dilatation hellt auf

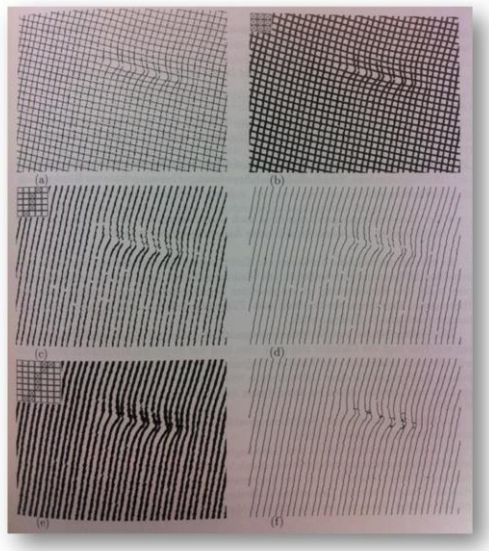
ACHTUNG: Das steht im Gegensatz zu einigen der bisherigen Darstellungen, wo dunkle Punkte gesetzt (1) und helle Punkte ungesetzt (0) waren!

Quelle: Heisenberg, mod. wh

Beispiel: Schließen von Lücken im binarisierten Linienbild

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung



(a) Original: Aufgabe ist die möglichst geschlossene Extraktion der vertikalen Linien

(b) Erosion mit Strukturelement (SE) Ecke links oben.
Folge: Verdickung der Linien

(c) Dilatation mit SE zur Entfernung der horizontalen Linien

(d) Skelettierung zur Verdünnung der Linien: Linien sind teilweise unterbrochen.

(e) Erosion von Bild c) zur Verdickung

(f) Skelettierung zur Verdünnung der Linien: Jetzt sind sie geschlossen.

Quelle: Nischwitz, Fischer, Haberäcker, Socher: Computergrafik und Bildverarbeitung

Skelettierung wird später erklärt.

Klärung: Die Folie ist korrekt für die typische Anwendung mit hellen gesetzten und dunklen ungesetzten Pixeln. Betrachtet man die (dunklen) „Objektpixel“ als „gesetzt“, dann müssten Dilatation und Erosion umgekehrt verwendet werden, was auch dem intuitiven Verständnis entspräche. [wh]

Ablauf:

a) dunkle kreuzende Linien; nur +/- senkrechte sollen erhalten bleiben

b) Erosion (verdünnt helle Bereiche, d.h. erweitert alle dunklen Linien) mit 3x3 StrukElem.

c) Dilatation mit leicht schräger Linie (die zu erhaltende Form) im StrukElem. erweitert helle Bereiche zw. den zu erhaltenden Linien, füllt also die dunklen Zwischenräume parallel zu der zu erhaltenden Richtung -> dünnere, unterbrochene Linien in der zu erhaltenden Richtung

d) Skelettierung der dunklen Linien zu 1 Pixel Dicke

e) Erosion mit größerem StruktElem. entlang zu erhaltender Formen verdünnt helle Linien und füllt so die Lücken zwischen den dunklen Linien

f) Skelettierung der (jetzt geschlossenen) dunklen Linien verdünnt diese auf 1 Pixel Dicke.

b) erzeugt nur den inneren Rand der Segmente.

Bild c) erzeugt Ränder, die die Segmente komplett enthalten.

ANMERKUNG: Die Folie ist korrekt für die typische Anwendung mit hellen gesetzten und dunklen ungesetzten Pixeln. Betrachtet man die (dunklen) „Objektpixel" als „gesetzt", dann müssten Dilatation und Erosion umgekehrt verwendet werden, was auch dem intuitiven Verständnis entspräche. [wh]

Quelle: Heisenberg

Ablauf:

a) dunkle Objekte auf hellem Hintergrund

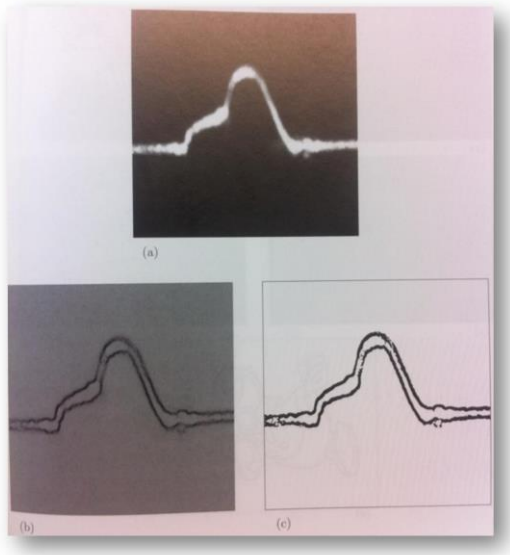
b) Dilatation erweitert helle Bereiche, trägt also die Ränder der dunklen Objekte ab; wird das neue Bild vom Original abgezogen, ergibt das 0, wo sich nichts geändert hat und negative Werte, wo dunkle zu hell wurde, also an den inneren Rändern der dunklen Objekte. Ein aufaddierter Grauwert hellt die Bereiche ohne Unterschiede auf und hält die anderen dunkel.

c) Erosion verkleinert helle Bereiche und vergrößert so die dunklen Objekte; wird das neue Bild vom Original abgezogen, bleiben hohe Werte dort übrig, wo die dunklen durch Erosion vergrößert wurden.

Beispiel: Morphologischer Gradient im Grauwertbild

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung



(a) Originalgrauwertbild

(b) 2-fache Dilatation mit Subtraktion vom Originalbild.

(c) binarisiertes Ergebnis

Problem:

- Linien zu dick
- Die morphologischen Beiträge des Gradienten enthalten unterschiedliche Werte.

Quelle: Nischwitz, Fischer, Haberäcker, Socher: Computergrafik und Bildverarbeitung

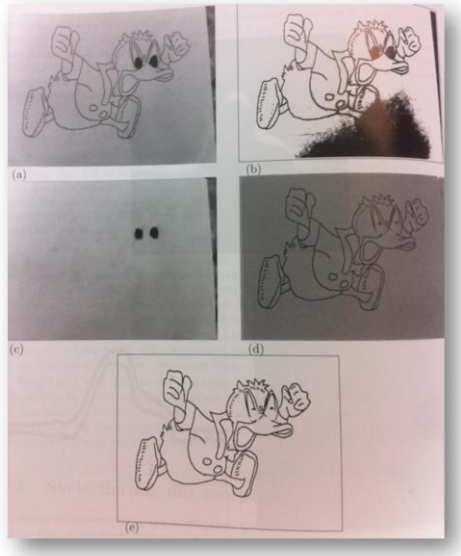
b) Dilatation vergrößert helle Bereiche; wo dies geschehen ist, entstehen beim Subtrahieren vom Originalbild negative Werte, die beim Hinzufügen eines Grauwerts schwarz auf dem grauen Hintergrund erscheinen.

c) nach Schwellwertbehandlung sind die (hinzugefügten) umschließenden Ränder der hellen Kurve schwarz auf weiß zu sehen.

Beispiel: Korrektur schlechter Ausleuchtung

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung



(a) Original mit Ausleuchtungsproblem

(b) Binärbild mit fixem Schwellwert

(c) Nach Closing-Operation (5 Iterationen)

(d) Differenzbild mit dem Original

(e) Binarisierung
(Augen fehlen, aber Keil am Bildrand ist vollständig eliminiert)

Quelle: Nischwitz, Fischer, Haberäcker, Socher: Computergrafik und Bildverarbeitung

b) Fixer Schwellwert überhöht dunkle Regionen und übermalt Konturen.

c) Grauwert-Closing entfernt Linien, erhält geschlossene dunkle Flächen (hier: nur Augen)

d) a-c (+ grau-Offset) erhält schwarze Linien vor Grau.

e) Nach Binarisierung mit geeignetem Schwellwert bleiben schwarze Konturen vor weißem Hintergrund. Die ursprünglich tiefschwarzen Augen sind dabei verloren gegangen, können aber durch Addition von Bild c nach dessen Binarisierung wieder hinzugefügt werden.

Kompetenzcheck

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Grundlagen der Bildverarbeitung

- **Schwellwerte** ☑
  - manuell – automatisch
  - statisch – dynamisch
  - global – lokal
  - Otsu-Verfahren
- **Nachbarschaftsmetriken** ☑
- **Morphologische Operatoren** ☑
  - Basis-Operatoren: Erosion, Dilatation
  - Kombinierte Operatoren: Öffnen, Schließen, Hit&Miss
  - Erweiterungen: Unschärfe, Grauwerte
  - Kantendetektion mit Morphol. Op.